УДК 656 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-68-77

Мероприятия по оптимизации дорожного движения и экологии. Расчеты экологической безопасности на заданном участке улично-дорожной сети г. Ростова-на-Дону

Р. С. Дуров, Е. В. Варнакова, К. О. Кобзев
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Одной из актуальных социально-экономических проблем является состояние окружающей среды, которое затрагивает условия жизни многих людей. С этих позиций рассмотрены проблемные участки перекрестка ул. 20-я линия-проспект Шолохова в г. Ростов-на-Дону.
Постановка задачи. Целью работы является улучшение экологической безопасности на пересечении ул. 20-я линия и проспекта Шолохова в г. Ростов-на-Дону за счет уменьшения выбросов от автомобильного транспорта путем реализации предложенных мероприятий по реорганизации движения на данном участке улично-дорожной сети.
Теоретическая часть. Дана оценка экологической и дорожной безопасности на участке улично-дорожной сети до применения предложенных мероприятий. Обоснованы мероприятия, улучшающие условия движения автотранспорта на выбранном перекрестке и снижающие вредные выбросы, что улучшит экологическую безопасность. Проведен расчет экологических показателей после реализации предложенных мероприятий по снижению выбросов оксинитрида (NO_x).
Выводы. Анализируются и сравниваются экологические показатели до и после проведенных мероприятий. На основании анализа и проведенных расчетов устанавливается эффективность предложенных мероприятий по оптимизации дорожного движения и степень снижения выбросов NO_x автомобилями.

Ключевые слова: окружающая среда, мероприятия по оптимизации дорожного движения, экологическая безопасность, массовый расход NO_x, экология, участок улично-дорожной сети, двигатель, транспортный поток.

Для цитирования: Дуров, Р. С. Мероприятия по оптимизации дорожного движения и экологии. Расчеты экологической безопасности на заданном участке улично-дорожной сети г. Ростова-на-Дону / Р. С. Дуров, Е. В. Варнакова, К. О. Кобзев // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 4. — С. 68–77. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-68-77

Measures to optimize traffic and the environment. Calculations of environmental safety on a given section of the Rostov-on-Don road network

R. S. Durov, E. V. Varnakova, K. O. Kobzev
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. One of the most pressing socio-economic problems is the state of the environment, which affects the living conditions of many people. The article deals with the problem areas of the intersection of 20-ya Liniya street – Sholokhov Avenue in Rostov-on-Don.
Problem Statement. The purpose of this paper is to improve environmental safety at the intersection of 20-ya Liniya street – Sholokhov Avenue in Rostov-on-Don by reducing emissions from road transport through the proposed measures to reorganize traffic on this section of the road network.
Theoretical Part. The article provides an assessment of environmental and road safety on the road network section before applying the proposed measures. The measures are listed and justified that would help improve the conditions for road transport at the selected intersection and reduce emissions from road transport, which would improve environmental safety. The calculation of environmental indicators was made after the proposed measures to reduce NOx emissions by cars.
Conclusion. The article analyzes the environmental indicators before and after the events, and then compares them. Based on the analysis and calculations, it is determined how much the proposed measures to optimize traffic will help reduce NOx emissions by cars.

***Keywords*:** environment, measures to optimize traffic, environmental safety, mass consumption of NOx, ecology, section of the road network, engine, traffic flow.

For citation: Durov R. S., Varnakova E. V., Kobzev K. O. Measures to optimize traffic and the environment. Calculations of environmental safety on a given section of the Rostov-on-Don road network: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2020;4:68‒77. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-4-68-77

Введение. Одной из актуальных социально-экономических проблем является состояние окружающей среды, которое затрагивает условия жизни многих людей. Рост технического прогресса связан с ростом количества автотранспорта на дорогах. Автомобили, в свою очередь, являются одними из основных массовых загрязнителей атмосферы. Они создают угрозу здоровью людей, связанную с выбросами и отходами, а также воздействием шума от потоков транспорта [1].

В последние годы Россия переживает серьезное загрязнение окружающей среды, которое представляет собой критическую угрозу для здоровья населения и устойчивого развития. Энергетическая деятельность является доминирующим источником загрязнения воздуха. Количество углекислого газа (CO_2), выбрасываемого электростанциями в атмосферу, составляет примерно 40 % от общего объема выбросов CO_2. Аналогичный показатель по загрязняющим веществам электростанций составляет 30 %. Кроме того, установлено, что транспортные средства вносят все больший вклад в загрязнение воздуха из-за быстрого роста перевозок. На долю транспорта приходится 20–67 % выбросов монооксида углерода (CO), 12–36 % выбросов оксинитрида NO_x и 12–39 % выбросов углеводородных соединений (HC). Масштабы выбросов в большинстве регионов России превысили возможности самоочищения и диффузии загрязняющих веществ из атмосферы. В настоящее время существует острый конфликт между растущим спросом на энергию, чрезмерным количеством транспортных средств и «высоким содержанием угля» в энергетическом балансе, с одной стороны, и императивом смягчения загрязнения воздуха — с другой [2, 3].

Постановка задачи. Целью работы является улучшение экологической обстановки на пересечении ул. 20-я линия и проспекта Шолохова в г. Ростов-на-Дону за счет уменьшения выбросов от автомобильного транспорта путем мероприятий по реорганизации движения на данном участке улично-дорожной сети. Также необходимо дать оценку экологической и дорожной безопасности на участке улично-дорожной сети (УДС) до применения предложенных мероприятий.

После изучения обстановки на вышеупомянутом перекрестке можно сделать заключение, что имеется возможность улучшения условий прохождения автомобильного транспорта на данной развязке. Проблемные факторы на обследуемой территории:

- нерационально подобранный цикл работы двух светофоров;
- отсутствие заездного кармана для муниципального транспорта.

Предполагается, что ключевой проблемой данного перекрестка является неправильно подобранный цикл работы светофоров. Особенно эта проблема сказывается в часы пик, когда интенсивность движения значительно повышается. Зафиксировано, что время действия разрешающего сигнала для пешеходов, переходящих пр. Шолохова, составляет лишь 24 с. Ширина дороги на этом участке — 13 м. Для обычного человека этого времени более чем достаточно. Однако для маломобильных групп населения, с учетом отсутствия различного рода спусков с бордюров либо пандусов, ситуация становится критической [4].

Во время действия разрешающего знака светофора автобусы и маршрутные такси, движущиеся от пригородного автовокзала в сторону площади Карла Маркса, имеют возможность повернуть налево на ул. 20-я линия. Однако в часы пик количество движущихся единиц на маршрутах возрастает, а значит увеличивается интенсивность движения муниципального транспорта. На данном перекрестке скапливаются автобусы и маршрутные такси, 20 секунд им явно недостаточно. Все можно было бы исправить, добавив лишь 10 с к действию разрешающего сигнала светофора.

Также немаловажным условием повышения проходимости данного участка является организация заездного кармана на остановке, не доезжая до 9-го общежития Донского государственного технического университета. Расширив остановку на три метра в сторону тротуара, можно было бы получить полноценный заездной карман, который позволил бы автобусам не задерживать поток, движущийся в сторону кольца у пригородного автовокзала. Реализация на месте остановки заездного кармана повысила бы проходимость данного участка без нарушения соответствующих стандартов [4, 5].

Теоретическая часть. По данным экологического мониторинга, на участке дорожной транспортной сети по пр. Шолохова вблизи 20 линии наблюдается повышенное содержание оксидов азота NO_x. По предварительным расчетам эмиссия NO_x составляет 11,2 г/с. В результате действий природоохранного характера скорость транспортного потока возросла с 6,8 м/с до 8,2 м/с. Выполним расчет масс выбросов NO_x транспортным потоком после проведения мероприятий. Протяженность участка уличной дорожной сети L = 111,6 м, число полос движения в каждую сторону z = 3 [6].

Скорость легковых автомобилей v определяется по формуле (1):

$$v = 1{,}8665 v_{т.п.}, \quad (1)$$

где $v_{т.п.}$ — скорость транспортного потока.

Используя формулу (1), определим скорости групп автомобилей.

Скорость легковых автотранспортных средств (АТС):

$$v_{j1} = 1{,}8665 \cdot 8{,}2 \approx 15{,}31 \text{ м/с.}$$

Скорость микроавтобусов:

$$v_{j2} = 0{,}575 \cdot 15{,}31 \approx 8{,}8 \text{ м/с.}$$

Скорость грузовых АТС и автобусов:

$$v_{j3} = v_{j4} = 0{,}4465 \cdot 15{,}3 \approx 6{,}84 \text{м/с.}$$

Произведение $\delta_{вр} a$ для легковых АТС можно представить выражением:

$$\pm\delta_{вр} a = g(2{,}023 v^{-1{,}0678} - \psi), \quad (2)$$

где $\delta_{вр}$ — коэффициент учета вращающихся масс; a — ускорение автомобиля, м/с^2; g — ускорение свободного падения, м/с^2; ψ — коэффициент приведенного сопротивления дороги, его можно рассчитать по формуле:

$$\psi = (f \pm tg\gamma)\cos\gamma ,$$

где f — коэффициент сопротивления качению, принимаем $f = 0{,}02$; γ — угол между поверхностью дорожного полотна и горизонтальной плоскостью.

Определим произведение $\delta_{вр} a$ для групп АТС по формуле (2).

Легковые АТС:

$$\delta_{вр} a = 9{,}87[2{,}023 \cdot 15{,}31^{-1{,}0678} - (0{,}02 - tg4)] = -6{,}257 \text{ м/с}^2.$$

Микроавтобусы:

$$\delta_{вр} a = 9{,}87[1{,}6851 \cdot 8{,}8^{-1{,}3825} - (0{,}02 - tg4)] = -6{,}518 \text{ м/с}^2.$$

Грузовые АТС и автобусы:

$$\delta_{вр} a = 9{,}87[0{,}5502 \cdot 6{,}84^{-1{,}11} - (0{,}02 - tg4)] = -6{,}698 \text{ м/с}^2.$$

Уравнение для определения относительной мощности двигателей автомобилей, в зависимости от их назначения и вида используемого топлива, имеет вид [7, 8]:

$$\overline{N} N_{ном} = \frac{[k_ф \rho_в F_s v_j^2 + mg\cos\gamma(f \pm tg\gamma) \pm \delta_{вр} am] v_j}{\eta_{тр}}, \quad (3)$$

где $\overline{N} N_{ном}$ — произведение, представляющее собой эффективную мощность двигателя, Вт, где $N_{ном}$ — номинальная мощность двигателя, Вт; $k_ф$ — коэффициент обтекаемости; $\rho_в$ — плотность воздуха, $\rho_в$=1,293 кг/м^3; F_s — площадь лобовой поверхности автомобиля, м^2; m — масса автомобиля, кг; $\eta_{тр}$ — коэффициент полезного действия трансмиссии.

Знаки минус в уравнении (3) перед комплексами величин $tg\gamma$ и $\delta_{вр} am$ ставят соответственно при движении под уклон и при отрицательном значении ускорения поступательного движения (движение с замедлением). Подставим значения массовых, мощностных и аэродинамических характеристик АТС в уравнение (3) и получим значения относительной мощности двигателей автомобилей.

Относительная мощность легковых автомобилей с бензиновыми двигателями карбюраторного типа:

$$\overline{N} = \frac{\left[0{,}15 \cdot 1{,}293 \cdot 1{,}5 \cdot 15{,}31^2 + 1750 \cdot 9{,}87 \cdot \cos 4 \cdot \left(0{,}02 - tg4\right) - 6{,}257 \cdot 1750\right] \cdot 15{,}31}{60000 \cdot \left(-2{,}9224\overline{N}^3 + 3{,}4211\overline{N}^2 - 1{,}0995\overline{N} + 1{,}0299\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-2{,}9224\overline{N}^4 + 3{,}4211\overline{N}^3 - 1{,}0995\overline{N}^2 + 1{,}0299\overline{N} - 0{,}5013 = 0 .$$

$\overline{N}_1 = 0{,}969$ и $\overline{N}_2 = 0{,}516$. Принимаем $\overline{N} = \overline{N}_2 = 0{,}516$. Это уравнение имеет 2 действительных корня $\overline{N}_1 = 0{,}959$ и $\overline{N}_2 = 0{,}536$, один из которых ($\overline{N}_1$) приблизительно равен единице. Исходя из физического смысла, можно предположить, что на данных скоростях невозможно в результате получить такую относительную мощность первого корня. Поэтому наиболее вероятным вариантом является действительный корень ($\overline{N}_2$). Таким образом $\overline{N} = \overline{N}_2 = 0{,}536$.

Относительная мощность легковых автомобилей с бензиновыми двигателями инжекторного типа:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,15\cdot1,293\cdot1,5\cdot15,31^2+1750\cdot9,87\cdot\cos4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,257\cdot1500\right]\cdot15,31}{60000\cdot\left(-3,2715\overline{N}^3+3,8372\overline{N}^2-1,2194\overline{N}+1,0006\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-3,2715\overline{N}^4+3,8372\overline{N}^3-1,2194\overline{N}^2+1,0006\overline{N}-0,5013=0.$$

$\overline{N}_1=0,937$ и $\overline{N}_2=0,53$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,53$.

Относительная мощность легковых автомобилей с дизельными двигателями:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,15\cdot1,293\cdot1,5\cdot15,31^2+1750\cdot9,87\cdot\cos4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,257\cdot1750\right]\cdot15,31}{70000\cdot\left(-1,3238\overline{N}^3+1,118\overline{N}^2-0,031\overline{N}+0,8755\right)}.$$

Отсюда следует

$$-1,3238\overline{N}^4+1,118\overline{N}^3-0,031\overline{N}^2+0,8755\overline{N}-0,4297=0.$$

$\overline{N}_1=1,12$ и $\overline{N}_2=0,445$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,445$.

Относительная мощность легковых автомобилей с газовыми двигателями:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,15\cdot1,293\cdot1,5\cdot15,31^2+1750\cdot9,87\cdot\cos4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,257\cdot1750\right]\cdot15,31}{55000\cdot\left(-2,9224\overline{N}^3+3,4211\overline{N}^2-1,0995\overline{N}+1,0299\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-2,9224\overline{N}^4+3,4211\overline{N}^3-1,0995\overline{N}^2+1,0299\overline{N}-0,5468=0.$$

$\overline{N}_1=0,946$ и $\overline{N}_2=0,562$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,562$.

Относительная мощность микроавтобусов с бензиновыми двигателями карбюраторного типа:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot1,293\cdot3\cdot8,8^2+2750\cdot9,87\cdot\cos4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,518\cdot2750\right]\cdot8,8}{90000\cdot\left(-2,9224\overline{N}^3+3,4211\overline{N}^2-1,0995\overline{N}+1,0299\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-2,9224\overline{N}^4+3,4211\overline{N}^3-1,0995\overline{N}^2+1,0299\overline{N}-0,2344=0.$$

$\overline{N}_1=1,06$ и $\overline{N}_2=0,254$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,254$.

Относительная мощность микроавтобусов с бензиновыми двигателями инжекторного типа:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot1,293\cdot3\cdot8,8^2+2750\cdot9,87\cdot\cos4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,518\cdot2750\right]\cdot8,8}{90000\cdot\left(-3,2715\overline{N}^3+3,8372\overline{N}^2-1,2194\overline{N}+1,0006\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-3,2715\overline{N}^4+3,8372\overline{N}^3-1,2194\overline{N}^2+1,0006\overline{N}-0,2344=0.$$

$\overline{N}_1=1,03$ и $\overline{N}_2=0,265$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,265$.

Относительная мощность микроавтобусов с дизельными двигателями:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot1,293\cdot3\cdot8,8^2+2750\cdot9,87\cdot\cos4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,518\cdot2750\right]\cdot8,8}{90000\cdot\left(-1,3238\overline{N}^3+1,118\overline{N}^2-0,031\overline{N}+0,8755\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-1,3238\overline{N}^4+1,118\overline{N}^3-0,031\overline{N}^2+0,8755\overline{N}-0,2344=0.$$

$\overline{N}_1=1,18$ и $\overline{N}_2=0,263$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,263$.

Относительная мощность микроавтобусов с газовыми двигателями:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot1,293\cdot3\cdot8,8^2+2750\cdot9,87\cdot\cos4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,518\cdot2750\right]\cdot8,8}{65000\cdot\left(-2,9224\overline{N}^3+3,4211\overline{N}^2-1,0995\overline{N}+1,0299\right)}$$

Отсюда следует:

$$-2,9224\overline{N}^4+3,4211\overline{N}^3-1,0995\overline{N}^2+1,0299\overline{N}-0,3246=0.$$

$\overline{N}_1=1,036$ и $\overline{N}_2=0,346$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,346$.

Относительная мощность грузовых автомобилей с бензиновыми двигателями карбюраторного типа:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot 1,293\cdot 3,5\cdot 6,84^2+4000\cdot 9,87\cdot\cos 4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,698\cdot 4000\right]\cdot 6,84}{72000\cdot\left(-2,9224\overline{N}^3+3,4211\overline{N}^2-1,0995\overline{N}+1,0299\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-2,9224\overline{N}^4+3,4211\overline{N}^3-1,0995\overline{N}^2+1,0299\overline{N}-0,2532=0.$$

$\overline{N}_1=1,06$ и $\overline{N}_2=0,274$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,274$.

Относительная мощность грузовых автомобилей с бензиновыми двигателями инжекторного типа:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot 1,293\cdot 3,5\cdot 6,84^2+4000\cdot 9,87\cdot\cos 4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,698\cdot 4000\right]\cdot 6,84}{72000\cdot\left(-3,2715\overline{N}^3+3,8372\overline{N}^2-1,2194\overline{N}+1,0006\right)}$$

Отсюда следует:

$$-3,2715\overline{N}^4+3,8372\overline{N}^3-1,2194\overline{N}^2+1,0006\overline{N}-0,2532=0.$$

$\overline{N}_1=1,03$ и $\overline{N}_2=0,285$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,285$.

Относительная мощность грузовых автомобилей с дизельными двигателями:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot 1,293\cdot 3,5\cdot 6,84^2+10250\cdot 9,87\cdot\cos 4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,698\cdot 10250\right]\cdot 6,84}{125000\cdot\left(-1,3238\overline{N}^3+1,118\overline{N}^2-0,031\overline{N}+0,8755\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-1,3238\overline{N}^4+1,118\overline{N}^3-0,031\overline{N}^2+0,8755\overline{N}-0,3656=0.$$

$\overline{N}_1=1,13$ и $\overline{N}_2=0,395$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,395$.

Относительная мощность грузовых автомобилей с газовыми двигателями:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot 1,293\cdot 3,5\cdot 6,84^2+10250\cdot 9,87\cdot\cos 4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,698\cdot 10250\right]\cdot 6,84}{80000\cdot\left(-1,3238\overline{N}^3+1,118\overline{N}^2-0,031\overline{N}+0,8755\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-1,3238\overline{N}^4+1,118\overline{N}^3-0,031\overline{N}^2+0,8755\overline{N}-0,5713=0.$$

$\overline{N}_1=1,03$ и $\overline{N}_2=0,606$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,606$.

Относительная мощность автобусов с бензиновыми двигателями карбюраторного типа:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot 1,293\cdot 7,5\cdot 6,84^2+5000\cdot 9,87\cdot\cos 4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,698\cdot 5000\right]\cdot 6,84}{100000\cdot\left(-2,9224\overline{N}^3+3,4211\overline{N}^2-1,0995\overline{N}+1,0299\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-2,9224\overline{N}^4+3,4211\overline{N}^3-1,0995\overline{N}^2+1,0299\overline{N}-0,2337=0.$$

$\overline{N}_1=1,06$ и $\overline{N}_2=0,253$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,253$.

Относительная мощность автобусов с бензиновыми двигателями инжекторного типа:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot 1,293\cdot 7,5\cdot 6,84^2+5000\cdot 9,87\cdot\cos 4\cdot\left(0,02-tg4\right)-6,698\cdot 5000\right]\cdot 6,84}{100000\cdot\left(-3,2715\overline{N}^3+3,8372\overline{N}^2-1,2194\overline{N}+1,0006\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-3,2715\overline{N}^4+3,8372\overline{N}^3-1,2194\overline{N}^2+1,0006\overline{N}-0,2337=0.$$

$\overline{N}_1=1,03$ и $\overline{N}_2=0,264$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,264$.

Относительная мощность автобусов с дизельными двигателями:

$$\overline{N}=\frac{\left[0,45\cdot 1,293\cdot 7,5\cdot 6,84^{2}+10500\cdot 9,87\cdot \cos 4\cdot \left(0,02-tg4\right)-6,698\cdot 10500\right]\cdot 6,84}{150000\cdot \left(-1,3238\overline{N}^{3}+1,118\overline{N}^{2}-0,031\overline{N}+0,8755\right)}.$$

Отсюда следует:

$$-1,3238\overline{N}^{4}+1,118\overline{N}^{3}-0,031\overline{N}^{2}+0,8755\overline{N}-0,317=0.$$

$\overline{N}_1=1,15$ и $\overline{N}_2=0,347$, принимаем $\overline{N}=\overline{N}_2=0,347$.

Рассчитаем относительный коэффициент избытка воздуха (таблица 1) по методике [9, 10].

Таблица 1

Относительный коэффициент избытка воздуха АТС

АТС	Тип двигателя и вид используемого топлива	$\overline{N}$	$\overline{\alpha}$
легковые	бензиновый карбюраторного типа	0,516	$\overline{\alpha}=0,8775\cdot 0,516^{3}-2,1263\cdot 0,516^{2}+2,0224\cdot 0,516+$ $+0,2387=0,837$
	бензиновый инжекторного типа	0,53	$\overline{\alpha}=1,4577\cdot 0,53^{3}-3,3985\cdot 0,53^{2}+2,8352\cdot 0,53+$ $+0,1276=0,893$
	дизельный	0,445	–
	газовый	0,562	$\overline{\alpha}=0,8775\cdot 0,562^{3}-2,1263\cdot 0,562^{2}+2,0224\cdot 0,562+$ $+0,2387=0,859$
микроавтобусы	бензиновый карбюраторного типа	0,254	$\overline{\alpha}=0,8775\cdot 0,254^{3}-2,1263\cdot 0,254^{2}+2,0224\cdot 0,254+$ $+0,2387=0,63$
	бензиновый инжекторного типа	0,265	$\overline{\alpha}=1,4577\cdot 0,265^{3}-3,3985\cdot 0,265^{2}+2,8352\cdot 0,265+$ $+0,1276=0,667$
	дизельный	0,263	–
	газовый	0,346	$\overline{\alpha}=0,8775\cdot 0,346^{3}-2,1263\cdot 0,346^{2}+2,0224\cdot 0,346+$ $+0,2387=0,72$
грузовые	бензиновый карбюраторного типа	0,274	$\overline{\alpha}=0,8775\cdot 0,274^{3}-2,1263\cdot 0,274^{2}+2,0224\cdot 0,274+$ $+0,2387=0,651$
	бензиновый инжекторного типа	0,285	$\overline{\alpha}=1,4577\cdot 0,285^{3}-3,3985\cdot 0,285^{2}+2,8352\cdot 0,285+$ $+0,1276=0,693$
	дизельный	0,395	–
	газовый	0,606	–
автобусы	бензиновый карбюраторного типа	0,253	$\overline{\alpha}=0,8775\cdot 0,253^{3}-2,1263\cdot 0,253^{2}+2,0224\cdot 0,253+$ $+0,2387=0,628$
	бензиновый инжекторного типа	0,264	$\overline{\alpha}=1,4577\cdot 0,264^{3}-3,3985\cdot 0,264^{2}+2,8352\cdot 0,264+$ $+0,1276=0,666$
	дизельный	0,347	–

В зависимости от относительной мощности АТС, рассчитаем концентрацию NO_x в отработанных газах (ОГ) АТС по формулам [10].

Легковые автомобили с бензиновыми двигателями карбюраторного типа:

$$c=35,536\cdot 0,837^{2}-73,553\cdot 0,837+39,411=2,743 \text{ г/м}^3.$$

Легковые автомобили с бензиновыми двигателями инжекторного типа:

$$c=18,667\cdot 0,893^{2}-41,8\cdot 0,893+24,043=1,602 \text{ г/м}^3.$$

Легковые автомобили с дизельными двигателями:

$$c = 4,2667 \cdot 0,445^4 - 19,2 \cdot 0,445^3 + 18,933 \cdot 0,445^2 - 1,2 \cdot 0,445 + 0,7 = 2,391 \text{ г/м}^3.$$

Легковые автомобили с газовыми двигателями:

$$c = 18,667 \cdot 0,859^2 - 41,8 \cdot 0,859 + 24,043 = 1,911 \text{ г/м}^3.$$

Микроавтобусы с бензиновыми двигателями карбюраторного типа:

$$c = -58,578 \cdot 0,63^2 + 62,586 \cdot 0,63 - 9,5996 = 6,58 \text{ г/м}^3.$$

Микроавтобусы с бензиновыми двигателями инжекторного типа:

$$c = -50,5 \cdot 0,667^2 + 51,98 \cdot 0,667 - 7,1382 = 5,066 \text{ г/м}^3.$$

Микроавтобусы с дизельными двигателями:

$$c = 4,2667 \cdot 0,263^4 - 19,2 \cdot 0,263^3 + 18,933 \cdot 0,263^2 - 1,2 \cdot 0,263 + 0,7 = 1,365 \text{ г/м}^3.$$

Микроавтобусы с газовыми двигателями:

$$c = -50,5 \cdot 0,72^2 + 51,98 \cdot 0,72 - 7,1382 = 4,108 \text{ г/м}^3.$$

Грузовые автомобили с бензиновыми двигателями карбюраторного типа:

$$c = -58,578 \cdot 0,651^2 + 62,586 \cdot 0,651 - 9,5996 = 6,318 \text{ г/м}^3.$$

Грузовые автомобили с бензиновыми двигателями инжекторного типа:

$$c = -50,5 \cdot 0,693^2 + 51,98 \cdot 0,693 - 7,1382 = 4,631 \text{ г/м}^3.$$

Грузовые автомобили с дизельными двигателями:

$$c = 4,2667 \cdot 0,395^4 - 19,2 \cdot 0,395^3 + 18,933 \cdot 0,395^2 - 1,2 \cdot 0,395 + 0,7 = 2,101 \text{ г/м}^3.$$

Грузовые автомобили с газовыми двигателями:

$$c = 0,3987 \cdot 0,606^2 - 0,0327 \cdot 0,606 + 0,0474 = 0,174 \text{ г/м}^3.$$

Автобусы с бензиновыми двигателями карбюраторного типа:

$$c = -58,578 \cdot 0,628^2 + 62,586 \cdot 0,628 - 9,5996 = 6,602 \text{ г/м}^3.$$

Автобусы с бензиновыми двигателями инжекторного типа:

$$c = -50,5 \cdot 0,666^2 + 51,98 \cdot 0,666 - 7,1382 = 5,081 \text{ г/м}^3.$$

Автобусы с дизельными двигателями:

$$c = 4,2667 \cdot 0,347^4 - 19,2 \cdot 0,347^3 + 18,933 \cdot 0,347^2 - 1,2 \cdot 0,347 + 0,7 = 1,823 \text{ г/м}^3.$$

Рассчитаем объемный расход ОГ по формуле:

$$Q_{ОГj} = 0,0007v^2 - 0,256v + 0,3184 .$$

Объемный расход ОГ легковых автомобилей:

$$Q_{ОГj1} = 0,0007 \cdot 15,31^2 - 0,0256 \cdot 15,31 + 0,3184 = 0,091 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход ОГ микроавтобусов:

$$Q_{ОГj2} = 0,0007 \cdot 8,8^2 - 0,0256 \cdot 8,8 + 0,3184 = 0,147 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Объемный расход ОГ грузовых автомобилей и автобусов:

$$Q_{ОГj3,4} = 0,0007 \cdot 6,84^2 - 0,0256 \cdot 6,84 + 0,3184 = 0,176 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Рассчитаем массовый расход NO_x для автомобилей по назначению и виду топлива по формуле:

$$M_{jk} = c \cdot Q_{ОГj} .$$

Результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2

Массовый расход NO_x двигателей автотранспорта [11]

Двигатели по виду используемого топлива	Массовый выброс загрязняющих веществ (ЗВ) АТС по назначению M_{jk}, г/с			
	легковые	микроавтобусы	грузовые	автобусы
бензиновые карбюраторные	0,2488	0,9673	1,112	1,162
бензиновые инжекторные	0,1458	0,7447	0,8151	0,8943
дизельные	0,2176	0,2007	0,3698	0,3208
газовые	0,1739	0,6039	0,0306	-

Средний пространственный интервал между автомобилями на участке дорожной сети находится по формуле:

$$h(v_{m.n.}) = 0,285^2_{m.n.} + 0,504 v_{m.n.} + 5,7 .$$

В результате подстановки значений параметров получим:

$$h(v_{m.n.}) = 0,285 \cdot 8,2^2 + 0,5048,2 + 5,7 = 11,75 \text{ м.}$$

Объем движения на участке дорожной сети находим по формуле:

$$K = z \cdot \left[\frac{L - d_{cp}}{h(v_{m.n.})} + 1 \right],$$

где d_{cp} — средняя длина транспортного средства, м. Параметр d_{cp} принимаем из условия, что длина легковых автомобилей — 3 м, микроавтобусов — 5 м, грузовых — 6 м и автобусов — 8,0 м.

В результате подстановки значений параметров получим:

$$K = \left[\frac{111,6 - 5,5}{11,75} + 1 \right] \cdot 3 = 30,1 \text{ шт.}$$

Рассчитаем массовый расход NO_x для групп АТС по назначению и виду используемого топлива по формуле:

$$\sum M_{jk} = M_{jk} K \lambda_{jk} ,$$

где λ_{jk} — доля автомобилей по назначению и виду топлива в транспортном потоке.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Массовый расход NO_x для групп АТС

АТС	Тип двигателя и вид используемого топлива	Массовый расход ЗВ для групп АТС ΣM_{jk}, г/с
легковые	бензиновый карбюраторный	2,705
	бензиновый инжекторный	1,580
	дизельный	0,0917
	газовый	0,250
микроавтобусы	бензиновый карбюраторный	0,670
	бензиновый инжекторный	0,524
	дизельный	0,375
	газовый	0,727
грузовые	бензиновый карбюраторный	0,1088
	бензиновый инжекторный	0,0798
	дизельный	0,050
	газовый	0,00046
автобусы	бензиновый карбюраторный	0,736
	бензиновый инжекторный	0,597
	дизельный	0,156

Определим массовый расход NO_x транспортным потоком на заданном участке путем сложения значений массового расхода для всех групп АТС из таблицы 3:

$$\sum M = \sum \sum M_{jk} .$$

В результате получим:

$$\sum M = 2,705 + 1,58 + 0,0917 + 0,25 + 0,67 + 0,514 + 0,375 + 0,727 + 0,1088 + 0,0798 +$$
$$+ 0,05 + 0,00046 + 0,736 + 0,597 + 0,156 = 8,64 \text{ г/с.}$$

Таким образом, скорость транспортного потока возрастет на 17,1%, массовый расход NO_x на заданном участке снизится на 23,2% (с 11,2 до 8,64 г/с).

Выводы. Исходя из результатов расчета, можно сделать вывод, что перечисленные мероприятия необходимы для значительного сокращения отрицательных последствий, которые создает автомобильный транспорт на заданном участке улично-дорожной сети. Чем меньше заторов, тем выше пропускная способность участка. Автомобили не будут застаиваться, что приведет к уменьшению выбросов в атмосферу, повысит экологическую безопасность, а также улучшит организацию движения на выбранном пересечении.

Библиографический список

1. Гапонов, В. Л. Безопасность и экологичность проекта. Методические указания к разделу выпускной квалификационной работы / В. Л. Гапонов, Л. Х. Бадалян. — Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2014. — 115 с.

2. Садило, М. В. Оценка дорожных условий и безопасности движения на участках автодороги : учебное пособие для вузов / М. В. Садило, Р. М. Садило. — Новочеркасск : Изд-во Южно-Росс. гос. политехн. ун-та, 2003. — 28 с.

3. Луканин, В. Н. Промышленная транспортная экология : учебник для вузов / В. Н. Луканин, Е. В. Трофименко. — Москва : Высшая школа, 2001. — 273 с.

4. Мероприятия по оптимизации дорожного движения и расчеты экологической безопасности на некоторых проблемных участках дорожной инфраструктуры Ростова-на-Дону / Р. С. Дуров, Е. В. Варнакова, К. О. Кобзев, Н. Д. Кобзева // Безопасность техногенных и природных систем. — 2019. — № 4. — С. 32–38.

5. Новиков, Ю. В. Экология, окружающая среда и человек : учебное пособие для вузов / Ю. В. Новиков. — Москва : ФАИР-ПРЕСС, 2008. — 320 с.

6. ГОСТ 23457–86. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения / Министерство внутренних дел СССР. Министерство автомобильных дорог РСФСР. — Москва : Изд-во стандартов, 1999. — 38 с. — URL : http://docs.cntd.ru/document/1200003889 (дата обращения : 22.11.2020).

7. Методика расчёта выбросов загрязняющих веществ автотранспортом на городских магистралях / Министерство транспорта Российской Федерации. — Москва, 1997. — 55 с. — URL : https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293839/ 4293839444.pdf (дата обращения : 22.11.2020).

8. Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух / Министерство экологии и природных ресурсов Российской Федерации. Министерство транспорта Российской Федерации. — Москва, 1993. — 20 с. — URL : http://www.ecologicals.ru/load/atmosfera/atmosfera/metodika_opredelenija_massy_vybrosov_zagrjaznjajushhikh_veshhestv_v_atmosfernyj_vozdukh_avtotransportnymi_sredstvami_m_1993/6-1-0-313 (дата обращения : 22.11.2020).

9. Пугачев, И. Н. Организация и безопасность движения : учебное пособие для вузов / И. Н. Пугачев. — Хабаровск : Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. — 232 с.

10. Бродский, А. К. Общая экология : учебник для вузов / А. К. Бродский. — Москва : Академия, 2006. — 256 с.

11. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. — Санкт-Петербург : НИИ охраны атмосферного воздуха, 2012. — 224 с.

Сдана в редакцию 16.09.2020
Запланирована в номер 30.10.2020

Об авторах:

Дуров Роман Сергеевич, магистрант кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0437-7000, roma.0107@mail.ru

Варнакова Екатерина Владимировна, магистрант кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0621-358X, katya-arena97@mail.ru

Кобзев Кирилл Олегович, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5633-3352, 5976765@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Р. С. Дуров — сбор и анализ литературных данных, участие в исследованиях, критический анализ, редактирование; Е. В. Варнакова — литературный и патентный анализ, участие в теоретическом исследовании, редактирование текста; К. О. Кобзев — научное руководство, формулирование основной концепции исследования и структуры статьи.

Submitted 16.09.2020
Scheduled in the issue 30.10.2020

Authors:

Durov, Roman S., Master's degree student, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0437-7000, roma.0107@mail.ru

Varnakova, Ekaterina V., Master's degree student, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0621-358X, katya-arena97@mail.ru

Kobzev, Kirill O., Associate professor, Department of Transport Systems Operation and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand.Sci., ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5633-3352, 5976765@mail.ru

Contribution of the authors:

R. S. Durov — collection and analysis of literary data, participation in the research, critical analysis, editing; E. V. Varnakova — literary and patent analysis, participation in theoretical research, text editing; K. O. Kobzev — scientific supervision, formulation of the main research concept and article structure.